

Beschreibung

Dampfturbinenrotor, Dampfturbine und Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors und Verwendung einer aktiven Kühlung

5

Die Erfindung betrifft einen Dampfturbinenrotor, der sich entlang einer axialen Ausdehnung erstreckt, aufweisend: eine Außenseite, die an einen Außenraum grenzt, der zur Aufnahme einer Hauptströmung eines fluiden Arbeitsmediums vorgesehen ist, und eine erste Stelle entlang der

10 Außenseite, bei der eine erste Schaufelreihe gehalten ist. Die Erfindung betrifft auch eine Dampfturbine. Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors der genannten Art.

15 Bei der Beaufschlagung einer Dampfturbine mit heißem Dampf als Arbeitsmedium ist man bestrebt, zur Steigerung der erreichbaren Dampftemperaturen hochbeanspruchte Bauteile gezielt zu kühlen. Dies umfasst - soweit möglich - eine Abschirmung und eine Wärmeabfuhr durch eine entsprechend dimensionierte Kühlung. Unter einer Dampfturbine im
20 Sinne der vorliegenden Anmeldung wird jede Turbine oder Teilturbine verstanden, die von einem Arbeitsmedium in Form von Dampf durchströmt wird. Im Unterschied dazu werden Gasturbinen mit Gas und/oder Luft als Arbeitsmedium durchströmt, das jedoch völlig anderen Temperatur- und Druckbedingungen unterliegt als der Dampf bei einer Dampfturbine. Im
25 Gegensatz zu Gasturbinen weist bei Dampfturbinen z. B. das einer Teilturbine zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig den höchsten Druck auf. Ein offenes Kühlsystem ist also nicht ohne Teilturbinen-externe Zuführung eines Kühlmediums realisierbar. Kühlmaßnahmen, wie sie von Gasturbinen bekannt sind, erweisen sich
30 deshalb in ihrer von Gasturbinen bekannten und lediglich für Gasturbinen geeigneten Form als nicht übertragbar auf Dampfturbinen.

Unter einem Gehäuse einer Dampfturbine ist insbesondere das stationäre Gehäusebauteil einer Dampfturbine oder einer Teilturbine zu verstehen,
35 das entlang der axialen Ausdehnung der Dampfturbine einen Innenraum aufweist, der zur Durchströmung mit dem Arbeitsmedium Dampf vorgesehen ist. Dies kann, je nach Dampfturbinenart, ein Innengehäuse und/oder auch

ein Leitschaufelträger sein. Unter einem Dampfturbinengehäuse ist auch ein Turbinengehäuse zu verstehen, welches kein Innengehäuse oder keinen Leitschaufelträger aufweist.

- 5 In dem Innenraum ist entlang der axialen Ausdehnung ein mit Schaufeln besetzter Rotor drehbar angeordnet, so dass bei Durchströmung des Innenraums mit erhitztem und unter Druck stehendem Dampf der Rotor über die Schaufeln durch den Dampf in Drehung versetzt wird. Die Schaufeln des Rotors werden auch als Laufschaufeln bezeichnet. Eine Dampfturbine weist
10 darüber hinaus stationäre Leitschaufeln auf, welche in die Zwischenräume der Rotorscheaufeln greifen und durch das Innengehäuse/den Leitschaufelträger gehalten werden. Eine Laufschaufel ist üblicherweise entlang einer Außenseite eines Dampfturbinenrotors gehalten. Dabei ist sie üblicherweise Teil eines Laufschaufelkranzes, welcher eine Anzahl von
15 Laufschaufeln umfasst, die entlang eines Außenumfangs an der Außenseite des Dampfturbinenrotors angeordnet sind. Dabei weist jede Laufschaufel mit ihrem Schaufelblatt radial nach außen. Ein Laufschaufelkranz wird auch als Laufschaufelreihe bezeichnet. Üblicherweise ist eine Anzahl von Laufschaufelreihen hintereinander geschaltet. Entsprechend ist an einer
20 zweiten Stelle entlang der axialen Ausdehnung hinter der ersten Stelle ein weiterer zweiter Schaufelkranz entlang der Außenseite des Dampfturbinenrotors gehalten.

- Bei den bisher bekannten Kühlmethoden, insbesondere für einen
25 Dampfturbinenrotor, ist zwischen einer aktiven Kühlung und einer passiven Kühlung zu unterscheiden. Bei einer aktiven Kühlung wird eine Kühlung durch ein dem Dampfturbinenrotor separat, d. h. zusätzlich zum Arbeitsmedium zugeführtes Kühlmedium bewirkt. Dagegen erfolgt eine passive Kühlung lediglich durch eine geeignete Führung oder Verwendung
30 des Arbeitsmediums in der Hauptströmung. Eine übliche Kühlung eines Dampfturbinenrotors beschränkt sich auf eine passive Kühlung.

- Aus der US 6,102,654 und der WO 97/49901 ist hingegen bekannt, einen Rotor einer Dampfturbine mit kühlem, bereits expandiertem Dampf zu
35 durchströmen. Dabei wird Kühlmedium durch einen im Wesentlichen zentralen Hohlraum entlang einer inneren Rotorwandung geführt und dann von dort über separate radiale Stichkanäle nach außen, insbesondere zu kühlenden

Bereichen des Gehäuses zugeleitet. Dadurch, dass der zentrale Hohlraum und die Stichkanäle an der Stelle der höchsten Bauteilbelastung angeordnet sind, führt dies zu einem erheblichen Festigkeitsnachteil für den Rotor. Dies hat auch den Nachteil, dass eine Temperaturdifferenz über die Rotorwandung beschränkt bleiben muss, da sich sonst bei einer zu großen Temperaturdifferenz der Rotor thermisch zu stark verformen würde. Aus diesen Gründen ist ein derartiges Konzept bislang noch nicht verbreitet zum Einsatz gekommen. Bei einer Durchströmung des Rotors findet zwar eine Wärmeabfuhr statt, jedoch erfolgt die Wärmeabfuhr relativ weit entfernt von der Stelle der Wärmezufuhr. Eine Wärmeabfuhr in unmittelbarer Nähe der Wärmezufuhr ist bisher nicht in ausreichendem Maße verwirklicht worden.

Eine weitere, passive Kühlung kann mittels einer geeigneten Führung und Verwendung der Expansion des Dampfes des Arbeitsmediums erreicht werden. Dabei wird der einer Dampfturbine zuströmende Dampf durch ausschließlich stationäre Teile, z. B. einen Leitschaufelkranz oder radial wirkende Leitschaufeln zunächst expandiert, bevor er rotierende Bauteile beaufschlagt. Der Dampf erfährt dabei eine Abkühlung im Bereich von etwa 10 K. Hierüber lässt sich allerdings nur eine sehr begrenzte Kühlwirkung auf den Rotor erzielen.

In der US 6,102,654 wird eine aktive Kühlung eines Dampfturbinenrotors nur in einem sehr eingeschränkten Umfang verwirklicht und die Kühlung ist zudem auf den Einströmbereich des heißen Arbeitsmediums beschränkt. Wie in FIG 1 dieser Anmeldung wiedergegeben, wird gemäß der US 6,102,654 Kühlmedium durch das Gehäuse auf ein Schutzschild und auf einen ersten Leitschaufelring geleitet, um eine Temperaturbeanspruchung des Rotors und des ersten Leitschaufelrings zu reduzieren. Ein Teil des Kühlmediums wird dem Arbeitsmedium beigemischt. Abgesehen von der Beschränkung der Kühlung auf den Einströmbereich soll eine Kühlung lediglich durch ein Anströmen der zu kühlenden Komponenten erreicht werden. Der dadurch erreichbare Kühleffekt auf den Rotor ist begrenzt, da er sich auf den Einströmbereich der Hauptströmung beschränkt.

35

Aus der WO 97/49901 ist bekannt, einen einzelnen Leitschaufelkranz selektiv durch einen von einem zentralen Hohlraum bespeisten separaten

radialen Kanal im Rotor zu kühlen. Dazu wird Kühlmedium über den Kanal dem Arbeitsmedium beigemischt und der zu kühlende Leitschaufelkranz durch Kühlmedium selektiv angeströmt. Der Kühleffekt auf den Rotor ist dabei verbesserungswürdig. Darüber hinaus bewirkt die Bohrung nachteiligerweise
5 eine deutliche Spannungserhöhung des Rotors gegenüber der Ausgestaltung ohne Bohrung.

In der EP 1154123 ist eine Möglichkeit der Entnahme und Führung eines Kühlmediums aus anderen Bereichen eines Dampfsystems und die Zuführung
10 des Kühlmediums im Einströmbereich des Arbeitsmediums beschrieben.

Zur Erzielung höherer Wirkungsgrade bei der Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen besteht das Bedürfnis, höhere Dampfparameter, d. h. höhere Drücke und Temperaturen als bisher üblich anzuwenden. Dabei sind beim
15 Dampf als Arbeitsmedium Drücke über 250 bar und Temperaturen über 540 C vorgesehen. Im Detail sind solche Dampfparameter in dem Artikel "Neue Dampfturbinenkonzepte für höhere Eintrittsparameter und längere Endschaufeln" von H. G. Neft und G. Franconville in der Zeitschrift VGB Kraftwerkstechnik, Nr. 73 (1993), Heft 5, angegeben. Der
20 Offenbarungsgehalt des Artikels wird hiermit in die Beschreibung dieser Anmeldung aufgenommen. Insbesondere sind Beispiele höherer Dampfparameter in Bild 13 des Artikels genannt. In dem genannten Artikel wird zur Verbesserung der Kühlung eines Dampfturbinenrotors eine Kühldampfzufuhr und Weiterleitung des Kühldampfs durch die erste Leitschaufelstufe und
25 gegebenenfalls auch durch die zweite Leitschaufelstufe vorgeschlagen. Damit wird eine aktive Kühlung lediglich für das Dampfturbinengehäuse bereitgestellt. Zudem ist die Kühlung auf den Hauptströmungsbereich des Arbeitsmediums beschränkt und noch verbesserungswürdig.

30 Alle bisher bekannten Kühlverfahren für einen Dampfturbinenrotor sehen also, soweit es sich überhaupt um aktive Kühlverfahren handelt, allenfalls ein gezieltes Anströmen eines separaten und zu kühlenden Turbinenteiles vor und sind auf den Einströmbereich des Arbeitsmediums beschränkt. Dies kann bei einer Belastung üblicher Dampfturbinen mit
35 höheren Dampfparametern zu einer auf die ganze Turbine wirkenden, erhöhten thermischen Belastung führen, welche durch eine oben beschriebene übliche Kühlung des Rotors nur unzureichend abgebaut werden

- könnte. Dampfturbinen, die zur Erzielung höherer Wirkungsgrade beispielsweise mit höheren Dampfparametern arbeiten, benötigen eine verbesserte Kühlung, insbesondere des Rotors, um eine höhere thermische Belastung der Dampfturbine in genügendem Maße abzubauen. Dabei besteht
- 5 das Problem, dass bei der Nutzung bisher üblicher Turbinenmaterialien die zunehmende Beanspruchung des Rotors durch erhöhte Dampfparameter zu einer nachteiligen thermischen Belastung des Rotors und einer unzulässigen Temperaturerhöhung desselben führen kann.
- 10 Es ist deshalb Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren und eine Verwendung anzugeben, die eine ausreichende Kühlung eines Dampfturbinenrotors, insbesondere beim Betrieb einer Dampfturbine mit erhöhten Dampfparametern und üblichen Turbinenmaterialien, gewährleisten.
- 15 Diese Aufgabe wird durch die Erfindung mittels eines eingangs genannten Dampfturbinenrotors gelöst, bei dem mindestens eine integrierte Durchführung vorgesehen ist, die sich wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle angeordneten ersten Bereich und einem hinter der ersten
- 20 Stelle angeordneten zweiten Bereich durchgängig erstreckt.
- Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass zur Bereitstellung einer ausreichenden Kühlung eines Dampfturbinen-Rotors eine über den Einströmbereich des Arbeitsmediums und eine über die lediglich separate
- 25 Kühlung der ersten Schaufelstufe hinausgehende, aktive Kühlung innerhalb eines Dampfturbinenrotors vorgesehen sein sollte. Die Erkenntnis der Erfindung liegt darin, dass dies mit einer durchgängig im Rotor integrierten Durchführung erreicht werden kann, die wenigstens über eine Schaufelstufe hinausgeht. Dies schafft die Möglichkeit einer aktiven
- 30 Kühlung eines erheblichen oder ganzen Teils des die Laufschaufeln aufnehmenden Rotors. Der Teil geht jedenfalls über den Einströmbereich hinaus und geht wenigstens über eine Schaufelstufe hinaus. Vorteilhaft erstreckt sich der Teil über wenigstens zwei Schaufelstufen, günstigerweise über mehrere Stufen der Laufbeschaufelung. Damit wird die
- 35 Möglichkeit geschaffen, ein Kühlfluid mittels eines im Rotor integrierten und zusammenhängenden Durchführungssystems durchgängig zu führen.

- Dies hat den wesentlichen Vorteil, dass die Kühlung eines Dampfturbinenrotors nicht nur über wenigstens eine, vorteilhaft über mehrere Schaufelstufen, also wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle angeordneten ersten Bereich und einem hinter der ersten Stelle angeordneten zweiten Bereich durchgängig erfolgt, sondern hat auch den Vorteil, dass die Wärmeabfuhr in unmittelbarer Nähe der Wärmezufuhr, nämlich in der Nähe seiner Oberfläche, erfolgt. Auf diese Weise wird die Kühlung bei üblichen Dampfturbinen verbessert, so dass diese mit geringeren Materialkosten gefertigt werden könnten. Des Weiteren erlaubt das vorgeschlagene Kühlungskonzept den Entwurf neuer Dampfturbinenkonzepte für höhere Eintrittsparameter, insbesondere auch bei höchsten Dampfparametern wie sie beispielsweise bei Temperaturen oberhalb von 500 C bestehen. Beispiele dafür finden sich in dem oben genannten Artikel "Neue Dampfturbinenkonzepte für höhere Eintrittsparameter und längere Endschaufeln" von H. G. Neft und G. Franconville. Beispielhafte Dampfparameter des Dampfes als Arbeitsmedium liegen beispielsweise bei 250 bar und 545 C bzw. bei 300 bar und 600 C.
- Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind den Unteransprüchen zum Dampfturbinenrotor zu entnehmen und geben im Einzelnen vorteilhafte Möglichkeiten an, den vorgeschlagenen Rotor hinsichtlich der genannten und weiterer Vorteile im Einzelnen weiterzubilden.
- Eine besonders bevorzugte Weiterbildung sieht eine zweite Stelle entlang der Außenseite vor, bei der eine zweite Schaufelreihe gehalten ist, wobei entlang der axialen Ausdehnung die zweite Stelle hinter der ersten Stelle angeordnet ist und wobei sich die Durchführung wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle angeordneten ersten Bereich und einem hinter der zweiten Stelle angeordneten zweiten Bereich durchgängig erstreckt. Es könnte auch zwischen der ersten Stelle und der zweiten Stelle eine Anzahl von weiteren Stellen vorgesehen sein, bei denen jeweils eine Schaufelreihe gehalten ist. Insbesondere ist die mindestens eine Durchführung in vorteilhafter Weise Teil eines zusammenhängenden Durchführungssystems, das sich entlang der axialen Ausdehnung des Dampfturbinenrotors erstreckt. Dies schafft die Möglichkeit, Kühltampf parallel zur Hauptströmung zu führen. Die Kühlung mehrerer Schaufelstufen

wird möglichst entlang des gesamten Rotors ermöglicht. Je nach Anforderungen und Bedarf könnte ein Durchführungssystem flexibel ausgelegt sein. Die mindestens eine Durchführung könnte sich günstigerweise zwischen einem vor dem ersten Schaufelkranz angeordneten ersten Bereich und einem hinter dem letzten Schaufelkranz angeordneten zweiten Bereich durchgängig erstrecken. Ein Durchführungssystem könnte jedoch auch aus Teilsystemen aufgebaut sein. Es könnte dabei zusätzlich oder alternativ eine erste Anzahl von Durchführungen vorgesehen sein, die jeweils durchgängig über eine einzige oder mehrere Schaufelstufen entlang der axialen Ausdehnung hinaus gehen. Diese könnten dabei über weitere zweite Durchführungen zu einem Durchführungssystem verbunden sein, die radial oder beliebig anders ausgerichtet sind. Die mindestens eine Durchführung bzw. die erste Anzahl von Durchführungen sind dabei vorteilhaft oberflächennah angeordnet. Die weiteren zweiten Durchführungen könnten auch beliebig im Rotor verlaufen oder aus der Rotoroberfläche heraus führen.

Günstigerweise ist ein offenes Kühlsystem vorgesehen, das die Möglichkeit der Anpassung der Parameter des Kühlmediums an die Parameter des Arbeitsmediums vorsieht. Dies wird im Einzelnen anhand des vorgeschlagenen Verfahrens weiter unten erläutert.

Im Unterschied zum Arbeitsmedium bei Gasturbinen weist bei Dampfturbinen das zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur auch gleichzeitig den höchsten Druck auf. Günstigerweise ist bei einem Dampfturbinenrotor deshalb die mindestens eine Durchführung Teil eines zusammenhängenden Durchführungssystems, das eine externe Zuführung aufweist, die für die Zuströmung von Kühlmedium vorgesehen ist. Dies schafft die Möglichkeit, das Kühlmedium mit einem zumindest geringfügig höheren Druck als das Arbeitsmedium der Durchführung zuzuleiten. Dies kann vorteilhaft dadurch erreicht werden, dass das Kühlmedium dem Wasser-Dampf-Kreislauf an einer Stelle höheren Druckes und hinreichend niedriger Temperatur entnommen wird.

Im Folgenden werden weitere vorteilhafte Ausgestaltungen eines Durchführungssystems beschrieben, dessen Teil die mindestens eine Durchführung gemäß dem vorgeschlagenen Konzept ist. Ein solches

Durchführungssystem ist vorteilhaft oberflächennah zur Außenseite des Dampfturbinenrotors angeordnet. Oberflächennah heißt in diesem Zusammenhang insbesondere, dass das Durchführungssystem, speziell die mindestens eine Durchführung, in einem Bereich der radialen Ausdehnung des Dampfturbinenrotors angeordnet ist, welcher durch die Außenseite des Rotors einerseits und die innere radiale Ausdehnung einer Laufschaufelnut andererseits begrenzt ist. Die mindestens eine Durchführung und/oder eine beliebige weitere Durchführung des Durchführungssystems kann dabei je nach Bedarf in vorteilhafter Weise als ein Kanal oder als eine beliebige Art von Hohlraum innerhalb des Rotors, vorzugsweise in dessen oberflächennahen Bereich, ausgelegt sein. Dies ermöglicht eine weitere Verbesserung der Wärmeabfuhr am Ort des Wärmeeintrags. Das vorgeschlagene Kühlungskonzept innerhalb des genannten Dampfturbinenrotors ist damit effektiver wirksam als eine in der Nähe eines zentralen Hohlraums an der Innenseite der Rotorwandung benachbart zur Laufachse für den Rotor angreifende Kühlung. Des Weiteren ergeben sich Vorteile hinsichtlich des Verformungsverhaltens eines Dampfturbinen-Rotors. Die Kühlung nach dem vorgeschlagenen Konzept verstärkt auch den Nutzen von Wärme-Isolationsschichten auf Rotor und Schaufeln. Derartige Schichten besitzen einen vergleichsweise geringen Wärmeleitkoeffizienten und können unter der Voraussetzung, dass eine ausreichende Wärmesenke vorhanden ist, eine hohe Temperaturdifferenz aufbauen. Damit können Rotor, Schaufelfüße und zum Teil auch Schaufelblätter auf einer wesentlich geringeren Temperatur gehalten werden als ohne eine Isolationsschicht. Alternativ zu einer Isolationsschicht oder in Kombination mit einer solchen kann, bei Verwendung des vorgeschlagenen Kühlungskonzepts, die Anwendung von weniger gut leitenden Schaufelwerkstoffen sinnvoll sein. Ein zu bevorzugendes Beispiel dafür sind beispielsweise austenitische Werkstoffe.

30

Ein zusammenhängendes Durchführungssystem weist günstigerweise einen entlang einer umfänglichen Ausdehnung des Rotors wenigstens teilweise umlaufenden Kanal auf. Zusammen mit der wenigstens einen axial verlaufenden Durchführung ermöglicht dies eine gesamtumfängliche Kühlung des Dampfturbinenrotors, vorzugsweise nahe seiner Außenseite.

35

- Vorteilhaft werden die Parameter des Kühlmediums in Abhängigkeit der Parameter des Arbeitsmediums über ein offenes Kühlsystem stufenweise angepasst. Günstigerweise weist dazu der erste Bereich eine erste Öffnung zur Hauptströmung auf. Vorteilhaft weist auch der zweite Bereich eine
- 5 zweite Öffnung zur Hauptströmung auf. Dadurch wird eine Kühlung mehrerer Schaufelstufen ermöglicht, wobei das Kühlmedium jeweils einen der Hauptströmung ähnlichen Druck aufweist, so dass vorteilhaft eine Minimierung der Differenzdruckbeanspruchung angestrebt ist.
- 10 Die mindestens eine Durchführung könnte als Bohrung, Nut oder auf andere geeignete Weise integriert sein. Darüber hinaus erweist es sich als ganz besonders günstig, wenn die Außenseite des Rotors durch ein umlaufendes Abschirmblech gebildet ist. Dies ermöglicht, dass der Dampfturbinenrotor im gekühlten Beschaukelungsbereich günstigerweise vollständig gegen die
- 15 Hauptströmung abgeschirmt ist. Dies hat wesentliche Vorteile hinsichtlich einer Oxidation des Rotorwerkstoffes. Ein umlaufendes Abschirmblech könnte günstigerweise durch eine Schaufelreihe, insbesondere durch die Schaufelfüße, gehalten sein.
- 20 Die mindestens eine Durchführung lässt sich je nach Bedarf ausführen. So erweist es sich als günstig, wenn die Durchführung durch eine Schaufel, insbesondere durch einen Schaufelfuß, geführt ist. Dabei könnte eine Nut an einem Schaufelfuß ein Teil der Durchführung sein. Gegebenenfalls könnte auch eine Bohrung durch einen einzelnen Schaufelfuß oder, alterna-
- 25 tiv oder zusätzlich, durch zwei benachbarte Schaufelfüße Teil der Durchführung sein. Weiter erweist es sich als günstig, einen Kanal in einem Schaufelblatt vorzusehen, der mit der Durchführung zusammenhängend verbunden ist. Auf diese Weise ist eine vorteilhafte Kühlung des Laufschaufelblattbereichs z. B. über eine Filmkühlung möglich.
- 30 Die Erfindung führt auch auf eine Dampfturbine mit einem Dampfturbinenrotor gemäß dem oben vorgeschlagenen Konzept oder einer Weiterbildung davon.
- 35 Hinsichtlich des Verfahrens wird die Aufgabe durch die Erfindung mit einem Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors der eingangs genannten Art gelöst, bei dem erfindungsgemäß vorgesehen ist,

ein fluiden Kühlmedium entlang der axialen Ausdehnung wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle angeordneten ersten Bereich und einem hinter der ersten Stelle angeordneten zweiten Bereich durchgängig zu führen.

- 5 Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, dass der Dampfturbinenrotor eine zweite Stelle entlang der Außenseite aufweist, bei der eine zweite Schaufelreihe gehalten ist, wobei entlang der axialen Ausdehnung die zweite Stelle hinter der ersten Stelle angeordnet ist und wobei das fluide Kühlmedium wenigstens zwischen einem vor der ersten
10 Stelle angeordneten ersten Bereich und einem hinter der zweiten Stelle angeordneten zweiten Bereich durchgängig geführt wird. Es erweist sich dabei als besonders vorteilhaft, dass das Kühlmedium in einem zusammenhängenden Durchführungssystem entlang der axialen Ausdehnung über die erste Stelle und die zweite Stelle und über eine Anzahl von
15 dazwischenliegenden, weiteren Stellen, bei denen jeweils eine Schaufelreihe gehalten ist, geführt wird.

- Da das einer Dampfturbine zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig auch den höchsten Druck aufweist, ist es
20 besonders günstig, dass das Kühlmedium dem Dampfturbinenrotor von extern zugeführt wird. Vorteilhaft übersteigt dabei der Druck des Kühlmediums einen Druck des Arbeitsmediums in der Hauptströmung.

- Es erweist sich als besonders günstig, dass das Kühlmedium mit einem
25 Druck geführt wird, der in Abhängigkeit eines Drucks der Hauptströmung angepasst ist und insbesondere die Kühlmediumströmung gedrosselt wird. Diese Weiterbildung ermöglicht die Ausbildung eines an höhere Dampfparameter angepassten, offenen Kühlsystems. Eine Drosselung des Kühlmediums zur Druckanpassung an die Hauptströmung erfolgt in vorteil-
30 hafter Ausgestaltung stufenweise durch entsprechende Gestaltungen der mindestens einen Durchführung, bevorzugterweise in Verbindung mit Öffnungen zur Hauptströmung.

- Weiterhin wird günstigerweise das Kühlmedium mit einer Temperatur
35 und/oder in einer Menge zugeführt, die in Abhängigkeit einer Temperatur der Hauptströmung angepasst wird. Dies kann vorteilhaft durch eine sicherheitstechnischen Anforderungen genügende Armatur geregelt werden,

die den Schnellschluss- und Stellvorgängen der Turbinenventile leittechnisch folgt. Die Temperatur des Kühlmediums ist gemäß sicherheitstechnischen Anforderungen vorteilhaft festzulegen und leittechnisch zu überwachen. Gegebenenfalls kann bei einer Schwachlast
5 eine überproportionale Menge an Kühlmedium in das Durchführungssystem eingebracht werden, so dass die Temperatur der Hauptströmung nach dem gekühlten Beschaufelungsbereich durch verstärkte Zumischung von Kühlmedium hinreichend niedrig gehalten wird.

10 Bei Ausfall des Kühlmediums kann der Betrieb der Turbine erforderlichenfalls mit Hilfe einer Anzahl von Turbinenventilen unterbrochen werden, was als Schnellschluss bezeichnet wird.

Die oben erläuterte Konzeption der Zuführung des Kühlmediums und der
15 Leitung des Kühlmediums in einem rotorintegrierten, vorteilhaft oberflächennahen Durchführungssystem kann entsprechend den Anforderungen ausgelegt und angepasst werden.

Das vorgeschlagene Konzept kann auch, gemäß einer Variante der Erfindung,
20 zum Anfahren und/oder zur Schnellabkühlung einer Turbine verwendet werden.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung sind der Rotor und/oder die Turbinenschaufeln mit einer Wärme-Isolationsbeschichtung versehen.
25 Derartige Wärme-Isolationsschichten weisen üblicherweise einen vergleichsweise geringen Wärmeleitkoeffizienten auf und können unter der Voraussetzung, dass lokal eine geeignete Wärmesenke bereitgestellt wird, eine hohe Temperaturdifferenz aufbauen. Die Funktion dieser Wärmesenke kann durch das vorliegend vorgesehene Kühlsystem übernommen werden, so
30 dass der solchermaßen ausgestaltete Rotor für die Verwendung von Wärme-Isolationsschichten besonders geeignet ist. Dabei können Rotor, Schaufelfüße und eventuell auch Schaufelblätter auf einer wesentlich geringeren Temperatur gehalten werden als ohne derartige Isolationsschichten. Alternativ zu oder in Kombination mit der Verwendung
35 von Isolationsschichten kann auch die Verwendung vergleichsweise schlecht wärmeleitender Schaufelwerkstoffe wie beispielsweise austenitischer Werkstoffe vorgesehen sein.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nun nachfolgend anhand der Zeichnung im Vergleich zum Stand der Technik, welcher ebenfalls dargestellt ist, beschrieben. Diese soll die Ausführungsbeispiele nicht
5 notwendigerweise maßstäblich darstellen, vielmehr ist die Zeichnung, wo zur Erläuterung dienlich, in schematisierter und/oder leicht verzerrter Form ausgeführt. Im Hinblick auf Ergänzungen der aus der Zeichnung unmittelbar erkennbaren Lehren wird auf den einschlägigen Stand der Technik verwiesen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass vielfältige
10 Modifikationen und Änderungen betreffend Form und Detail einer Ausführungsform vorgenommen werden können, ohne von der allgemeinen Idee der Erfindung abzuweichen. Die in der vorstehenden Beschreibung, in der Zeichnung sowie in den Ansprüchen offenbarten Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination für die
15 Ausgestaltung der Erfindung wesentlich sein. Die allgemeine Idee der Erfindung ist nicht beschränkt auf die exakte Form oder das Detail der im Folgenden gezeigten und beschriebenen bevorzugten Ausführungsform oder beschränkt auf einen Gegenstand, der eingeschränkt wäre im Vergleich zu dem in den Ansprüchen beanspruchten Gegenstand.

20 Die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung wird im Zusammenhang mit einem Kühlsystem beschrieben, das einen druckangepassten Kühldampfmassenstrom bereitstellt, der die rotierenden Bauteile, also den Rotor und die Laufschaufeln, gezielt kühlen kann. Damit kann die hier
25 vorgeschlagene, bevorzugte Ausführungsform einen wesentlichen Beitrag zur kostengünstigen, großtechnischen Realisierbarkeit höherer Dampfparameter und höherer Wirkungsgrade leisten. Darüber hinaus kann eine hier beschriebene oder davon abweichende und modifizierte Ausführungsform der Erfindung ebenfalls genutzt werden, um kostengünstigere Rotor- und
30 Schaufelwerkstoffe bei derzeitigen Dampfparametern zu verwenden.

Die Figuren der Zeichnung zeigen im Einzelnen:

FIG 1 ein bekanntes Kühlkonzept bei einem Dampfturbinenrotor, das
35 auf die Kühlung im Einströmbereich des Arbeitsmediums beschränkt ist;

- FIG 2 eine schematisierte Darstellung eines Kühlungskonzepts bei einem Dampfturbinenrotor gemäß einer bevorzugten Ausführungsform;
- 5 FIG 3 eine Darstellung der Zuführung des Kühlmediums und der Leitung des Kühlmediums in einem rotorintegrierten, oberflächennahen Kanalsystem im Beschaufelungsbereich bei der bevorzugten Ausführungsform;
- 10 FIG 4 eine Detaildarstellung entlang des Schnitts A-A bei dem Kanalsystem der FIG 3;
- FIG 5 eine Detaildarstellung entlang des Schnitts B-B bei dem Kanalsystem der FIG 3;
- 15 FIG 6 eine Detaildarstellung entlang des Schnitts B-B bei einer abgewandelten Gestaltung des Kanalsystems der FIG 3;
- FIG 7 eine schematisierte Darstellung einer Übertragungsmöglichkeit des Kühlmediums in den Bereich der Laufschaufelbefestigung gemäß der bevorzugten Ausführungsform;
- 20 FIG 8 eine Darstellung einer weiteren Übertragungsmöglichkeit des Kühlmediums in den Bereich der Laufschaufelbefestigung gemäß der bevorzugten Ausführungsform;
- 25 FIG 9 eine Darstellung einer weiteren Gestaltungsmöglichkeit des Kanalsystems zur Leitung des Kühlmediums im Bereich der Laufbeschaufelung;
- 30 FIG 10 eine Darstellung noch einer weiteren Gestaltungsmöglichkeit des Kanalsystems zur Leitung des Kühlmediums im Bereich der Laufbeschaufelung;
- 35 FIG 11 eine Darstellung zur Gestaltung eines Abschirmblechs in einem Überlappungsbereich.

Grundsätzlich werden bekannte Dampfturbinenrotoren als Vollstückrotoren und vollständig ohne aktive Kühlsysteme gefertigt. Im Stand der Technik gemäß der US 6,102,654 ist jedoch, wie in FIG 1 dargestellt, eine Dampfturbine 1 beschrieben, die ein auf die Kühlung im Einströmbereich 5 beschränktes Kühlsystem aufweist. Dieses weist einen auf einer Achse 2 drehbar angeordneten Rotor 3 auf, an dessen Rohrwelle eine Anzahl von Rotorscheaufeln 4 angeordnet ist. Diese sind in einem stationären Gehäuse 5 mit einer Leitbeschaufelung 6 angeordnet. Der Rotor 3 wird über die Rotorscheaufeln 4 durch das im Einströmbereich 7 einströmende 10 Arbeitsmedium 8 angetrieben. Zusätzlich zum Arbeitsmedium 8 strömt über einen separaten Eingangsbereich 9 ein Kühlmedium 10 dem Arbeitsmedium 8 zu. Dabei kühlt das Kühlmedium 10 durch Anströmen ausschließlich einen ersten Kranz 11 der stationären Leitbeschaufelung sowie ein Abschirmblech 12. Dadurch wird die Temperaturbelastung des Rotors 3 und 15 des ersten Leitschaufelkranzes 11 verringert. Zudem wird über eine Sperrleitung 13 Kühlfluid 10 von einem Eingangsbereich 9 des Kühlfluids 10 über den ersten Leitschaufelkranz 11 hinweg auf einen Bereich 14 geleitet, der direkt zwischen dem Gehäuse 5 und der ersten Rotorscheaufel 15 liegt. Dadurch wird der Eingangsraum 9 des Kühlfluids 10 20 gegen das Arbeitsmedium 8 abgedichtet, wobei das Kühlfluid 10 als Sperrfluid wirkt. Der Kanal 13 selbst ist als Sperrleitung ausgelegt und wirkt nicht als Kühlleitung.

Bei der Kühlung des Rotors 3 wird Kühldampf 10a über einen separaten 25 Stichkanal 16a einem im Wesentlichen zentralen Hohlraum 16b, welcher parallel der Rotorachse verläuft, zugeführt. Von dort wird ein solcher Kühldampf 10a auch über separate radiale Stichkanäle 16 wieder nach außen geführt. Der Kühldampf 10a wird darüber wieder der Hauptströmung in Bereichen 16c zugeführt, um den Rotor an einer Stelle zu kühlen. Das 30 Kühlmedium 10a umströmt also im Wesentlichen den Rotor 3 in einem Einströmbereich 7 und in einem zentralen Hohlraum 16b. Eine effektive Kühlung des Rotors selbst ist dadurch nicht gegeben, da die Führung des Kühlmediums im zentralen Hohlraum 16b entfernt von der Rotoroberfläche erfolgt und somit nicht an einem Ort des Wärmeeintrags. Die separaten 35 Kanäle 16a, 16 sind als Stichkanäle zur Kühlung einer bestimmten Stelle des Rotors ausgebildet und können ebenfalls keine effektive Kühlung des Rotors 3 bewirken, da sie radial von einem zentralen Hohlraum 16b zu

einem Bereich der Hauptströmung 16c verlaufen. Die hier dargestellte Kühlung eines Rotors gemäß dem Stand der Technik ist noch verbesserungswürdig, da sie keine oberflächennahe Kühlung zur Verfügung stellt. Durch den zentralen Hohlraum tritt im Übrigen eine

5 vergleichsweise hohe Rotorbeanspruchung auf, wobei zusätzlich auch noch der Bearbeitungsaufwand für die Anbringung der Stichkanäle erhöht ist. Weiterhin bietet dieses Konzept keine hinreichende Abschirmung der Rotorwelle gegenüber der Hauptströmung des Dampfes.

10 FIG 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Dampfturbine 20 gemäß einer besonders bevorzugten Ausführungsform. Diese weist einen Rotor 21 mit einer Anzahl von Rotorscheaufeln 24 auf, welcher drehbar in einem Gehäuse 23 mit einer Anzahl von Leitschaufeln 22 gelagert ist. Turbine 20 mit Rotor 21 und Gehäuse 23 erstrecken sich dabei entlang einer axialen

15 Ausdehnung 25. Die drehbaren Rotorscheaufeln 24 greifen dabei wie Finger in Zwischenräume zwischen die stationären Leitschaufeln 22.

Der hier dargestellte Rotor 21 weist eine Außenseite 26a auf. Die Außenseite 26a grenzt an einen zur Aufnahme einer Hauptströmung 27 eines

20 fluiden Arbeitsmediums vorgesehenen Außenraum 27a. Der Rotor weist eine Anzahl von Stellen an der Außenseite 26a auf, bei denen jeweils eine Laufschaufelreihe 24 gehalten ist. Dabei erstreckt sich gemäß der besonders bevorzugten Ausführungsform ein Kanalsystem 28 zur Führung eines Kühlmediums von einem ersten Bereich 28a entlang der Stellen für

25 die Laufschaufeln 24 bis zu einem zweiten Bereich 28b durchgängig.

Dabei weist das Kanalsystem entlang der axialen Ausdehnung 25 eine Anzahl von Öffnungen 29 zur Hauptströmung 27 auf. Diese dienen in

30 Zusammenwirkung mit den Durchtrittsöffnungen des Kanalsystems der stufenweisen Druckreduzierung des Kühlmediums parallel zur Hauptströmung 27. Von Stufe zu Stufe der Laufschaufeln 24 kann das Kühlmedium dabei vorzugsweise durch Strömungswiderstände gedrosselt werden. Dazu eignet sich, beispielsweise jeweils bei einer

35 Laufschaufelstufe 24, der Durchtritt des Kühlmediums durch eine Bohrung. Bei der Drosselung wird der Druck ohne Verrichtung technischer Arbeit reduziert. Das Kühlmedium besitzt bei ähnlichem Druck und niedrigerer Temperatur eine höhere Dichte als das Strömungsmedium in der

Hauptströmung, womit sich ein besseres Wärmeübergangsverhalten ergibt. Die durch Drosselung und Temperaturerhöhung bewirkte Volumenerhöhung des Kühlmediums kann vorteilhaft dadurch kompensiert werden, dass nach und nach ein Teil des Kühlmediums an die Hauptströmung über die Öffnungen 29
5 abgegeben wird. Dadurch wird auch eine gute Anpassung des Kühlmediumdruckes an den Druck der Hauptströmung erreicht. Die hier beschriebene Ausführungsform stellt somit ein offenes Kühlsystem dar.

Grundsätzlich könnte bei der bevorzugten Ausführungsform eines
10 Dampfturbinenrotors auch eine hier nicht dargestellte Variante eines Kühlsystems als ein geschlossenes Kühlsystem vorgesehen werden. Dabei ergeben sich zwar einige Nachteile, die aber je nach Bedarf, wenn erwünscht, in Kauf genommen werden können. Bei einem geschlossenen Kühlsystem wird eine Abgabe des Kühlmediums an die Hauptströmung 27 nicht
15 oder nur am Ende des gekühlten Bereichs realisiert. Dabei würden also die Öffnungen 29 des offenen Systems der FIG 2 im Wesentlichen entfallen. Kühlmedium würde lediglich von einem ersten Bereich 28a zu einem zweiten Bereich 28b geleitet, ohne dass dabei eine unmittelbare Druckanpassung an die Hauptströmung erfolgen würde. Der stufenweise Druckabbau könnte
20 ebenfalls durch eine Drosselung vorgenommen werden. Eine Abgabe des Kühlmediums an die Hauptströmung findet jedenfalls nicht pro Schaufelstufe 24 statt. So kann bei einem geschlossenen Kühlsystem beispielsweise eine Abgabe des Kühlmediums an die Hauptströmung 27 gar nicht, nur im Endbereich 28b oder nur bei einer stark verringerten Anzahl
25 von Stufen 24 erfolgen. Der Druck im Kanalsystem wird somit nur mittelbar an die Hauptströmung angepasst. Nachteilig dabei ist, dass die für das Kühlmedium erforderlichen Querschnitte durch Temperaturerhöhung und Druckabsenkung bei einem geschlossenen Kühlsystem im Verlauf des Kanalsystems deutlich anwachsen. Dies führt zu einer unerwünschten
30 Reduzierung der tragenden Querschnitte von Schaufelfüßen und/oder dem Rotor, da eine Ausgestaltung des Kanalsystems 28 als geschlossenes Kanalsystem von einem ersten Bereich 28a zu einem zweiten Bereich 28b hin in seinem Querschnitt anwachsen müsste, um einer Erhöhung des Volumenstroms Rechnung zu tragen. Dies läuft zwar den Festigkeitsanforderungen im Rotor- und Schaufelbefestigungsbereich zuwider,
35 könnte aber ausgeglichen werden. Sollte das Kühlmedium nach Wahrnehmung der Kühlungsaufgabe nicht an das Arbeitsmedium abgegeben werden können,

beispielsweise aufgrund zu unterschiedlicher Druck- und Temperaturparameter, so würde das Kühlmedium in einem Bereich 28b separat vom Arbeitsmedium aus dem Rotor 21 geführt werden. Bei der Kühlung mehrerer Stufen 24 mit einem geschlossenen System stellt sich, je nach

5 abgedecktem Expansionsbereich, ein hoher Differenzdruck zwischen strömendem Medium in der Hauptströmung 27 und dem Kühlmedium im geschlossenen Kanalsystem ein, wenn die Öffnungen 29 der FIG 2 nicht vorhanden sind. Dies wäre je nach Wahl des Kühlmitteldrucks durch eine relativ schlechtere Kühlwirkung oder bei hohem Kühlmitteldruck durch eine

10 relativ höhere Differenzdruckbeanspruchung der Bauteile gekennzeichnet. Bei einer geringen Dichte des Kühlmediums weist dieses nämlich eine geringe Wärmekapazität auf und bewirkt damit einen schlechteren Wärmeübergang. Dennoch handelt es sich auch bei einem geschlossenen System um ein aktives Kühlsystem, das den Dampfturbinenrotor 21 im

15 Vergleich zu einer passiven Kühlung oder im Vergleich zur nur begrenzten Kühlung im Einströmbereich eines Rotors erheblich besser kühlen kann.

Das offene Kanalsystem 28 weist zum einen eine durchgängige oberflächennahe Durchführung auf, von der mehrere Abzweigungen zu den

20 Öffnungen 29 hin abbiegen. Des Weiteren handelt es sich bei der hier gezeigten Ausführungsform auch um ein zusammenhängendes Kanalsystem 28 in dem Sinne, dass möglichst separate weitere Kanäle, die aus der Rotoroberfläche herauslaufen könnten, vermieden sind. Dies hat den Vorteil, dass der Kühldampfmassenstrom von Stufe zu Stufe abnehmen kann

25 und dass der selbe Kühldampf über mehrere Stufen hinweg wirken kann. Im Vergleich zu aus dem Stand der Technik der FIG 1 bekannten Einzelkanälen 16 bei einem Rotor oder 13 bei einem Gehäuse, die separat geführt sind, bemisst sich der erforderliche Druck nämlich nach dem höchsten Druck der Hauptströmung. Bei den separaten Kanälen gemäß dem

30 Stand der Technik wäre ein Druck für die nachfolgenden Stufen nicht mehr angepasst. Dies führt zu einer zusätzlichen Beanspruchung der Turbine durch einen höheren Differenzdruck. Auch würde ein höherer Druck in separaten Kanälen für mehrere Schaufelreihen zu einer erheblichen Steigerung der mechanischen Beanspruchung des Dampfturbinenrotors führen.

35 Auch müsste für separate Kanäle ein zusätzlicher Aufwand für die Bereitstellung unterschiedlicher Druckstufen zur Verfügung gestellt werden, was nachteilig ist. Grundsätzlich könnte aber, wie im allgemeinen

Teil der Beschreibung erläutert, im Rahmen einer Abwandlung ein Durchführungssystem flexibel ausgelegt und auch aus Teilsystemen aufgebaut sein.

5 In FIG 3 ist ein Dampfturbinenrotor 30 gemäß der bevorzugten Ausführungsform im gekühlten Beschaufelungsbereich näher dargestellt. Eine entsprechende Dampfturbine 31 weist weiterhin ein nicht dargestelltes Gehäuse mit einer Leitbeschaufelung 32 auf. Der Dampfturbinenrotor 30 sieht dabei eine erste Stelle 30a und eine zweite
10 Stelle 30b entlang der Außenseite 33 vor, wobei entlang der axialen Ausdehnung 34 die zweite Stelle 30b hinter der ersten Stelle 30a angeordnet ist. Die Außenseite 33 grenzt dabei an einen Außenraum 35, der zur Aufnahme einer Hauptströmung 36 eines fluiden Arbeitsmediums vorgesehen ist. Allerdings ist in diesem Fall die Außenseite 33 nicht
15 durch die eigentliche Oberfläche der Rotorwelle gebildet, sondern durch ein mit dem Rotor mitrotierendes Abschirmblech 38, das durch die Schaufelfüße 39a, 39b gehalten ist. Die Schaufelfüße 39a, 39b sind weiterhin in Schaufelnuten 40a, 40b verankert. Eine Anzahl von Schaufeln 41a wird entlang des Umfangs des Rotors 30 nebeneinander und
20 jeweils in radialer Orientierung 42 angeordnet und bildet so eine erste, auch als Laufschaufelstufe bezeichnete Laufschaufelreihe an der Stelle 30a. Entsprechend ist eine Anzahl von zweiten Schaufeln 41b an einer zweiten Stelle 30b nebeneinander umfänglich in der Nut 40b angeordnet und bildet eine zweite Laufschaufelreihe.

25 Eine ergänzende oder alternative Abwandlung zu dem in FIG 3 dargestellten Abschirmblech 38 könnte auch durch eine angearbeitete Abschirmfläche an den Schaufelfüßen 39a, 39b erfolgen. Zwar würde dadurch ein zusätzlicher Material- und Fertigungsaufwand erforderlich werden, jedoch könnte eine
30 ähnliche Abschirmwirkung wie mit einem Abschirmblech 38 erreicht werden und je nach Bedarf vorteilhaft sein.

Das Kanalsystem 43 der FIG 3 weist mindestens einen zwischen einem vor der ersten Stelle 30a angeordneten ersten Bereich und einem hinter der ersten
35 Stelle 30a und bei dieser Ausführungsform auch hinter der zweiten Stelle 30b angeordneten zweiten Bereich durchgängig sich erstreckende Durchführung 44 auf. Die Durchführung 44 erstreckt sich bei dieser

Ausführungsform praktisch entlang des gesamten Beschaufelungsbereichs des Rotors (Länge je nach Bedarf). Die Durchführung 44 wird zum einen von der Wandung 37 des Rotors 30 und zum anderen von dem Abschirmblech 38 gebildet. Eine Vielzahl solcher Durchführungen 44 ist in axialer
5 Richtung 34 umfänglich entlang der Außenseite 33 des Rotors 30 angeordnet. Das Kanalsystem 43 weist außerdem eine Anzahl von umfänglich umlaufenden Nuten 45 auf, die bei dieser Ausführungsform entlang der axialen Ausdehnung 34 jeweils auf Höhe einer Leitschaufel 32 angeordnet sind. Die Leitschaufel 32 weist eine Deckplatte 32a auf. Die
10 Durchführungen des Kanalsystems 43 können durch Fräsungen in der Oberfläche 37 der Rotorwelle aufgebracht werden und durch flächige Bauelemente des Abschirmblechs 38 abgedeckt werden. Dabei bezieht das Kanalsystem 43 auch Schaufelnuten (FIG 9, FIG 10) und/oder Bohrungen 46a, 46b (FIG 5, FIG 6, FIG 9, FIG 10) in Schaufelfüßen 39a, 39b mit in den
15 Strömungsverlauf ein.

Das Durchführungssystem 43 weist außerdem Öffnungen 47, 48 und 49 zur Anpassung des Druckes des Kühlmittelstroms an den Druck des Arbeitsmediumstroms durch Abgabe eines Teils des Kühlmittelstroms an die
20 Hauptströmung auf.

Die Abschirmung durch ein Abschirmblech 38 im Beschaufelungsbereich kann durch eine Abschirmung auch des Einströmbereichs des Kühlmediums mittels eines weiteren Abschirmbleches erreicht werden, welches hier nicht
25 dargestellt ist, und weitere Vorteile hinsichtlich der Oxidation des Turbinenrotormaterials mit sich bringt.

Alternativ oder zusätzlich zu einem Abschirmblech 38 kann ein Durchführungssystem 43 oder eine Durchführung 44, 45 auch in Form von
30 Bohrungen oder auf andere geeignete Weise innerhalb des Rotors 30 oberflächennah angebracht sein.

In FIG 4 ist die Ansicht des Schnittes A-A der FIG 3 gezeigt. Dabei ist die umlaufende Nut 45 der FIG 3 in gestrichelter Linie ausgeführt.
35 Entsprechend ist die axiale Nut 44 als Einbuchtung in der Oberfläche 37 der Rotorwelle des Dampfturbinenrotors schematisch angedeutet.

FIG 5 zeigt eine Möglichkeit zur Anbringung einer Bohrung 46a in einem Schaufelfuß 39a. Eine Vielzahl entlang des Rotors umfänglich nebeneinander angeordneter Schaufelfüße 39a, 39a' mit Bohrungen 46a, 46a' bildet eine Schaufelreihe an der Stelle 30a.

5

Eine alternative Ausführung der Bohrungen 46a, 46a' der FIG 3 ist in FIG 6 als Bohrung 46a" gezeigt. Eine Bohrung 46a" ist in jeweils zwei benachbarten Schaufelfüßen 39a" angebracht.

- 10 Im Gegensatz zu Gasturbinen weist bei Dampfturbinen das einer Teilturbine zuströmende Arbeitsmedium mit der höchsten Temperatur gleichzeitig den höchsten Druck auf. Um insbesondere ein offenes Kühlsystem für eine Dampfturbine zu verwirklichen, müssen also geeignete Maßnahmen zur Zuführung des Kühlmediums getroffen werden. Eine Zuführung des
- 15 Kühlmediums kann nach Entnahme eines solchen Mediums aus dem Wasser-Dampf-Kreislauf an einer Stelle höheren Druckes und hinreichend niedriger Temperatur erfolgen. Geeignete Entnahmestellen sind insbesondere:

- vor Eintritt in die der Teilturbine vorgeschalteten Überhitzerteile des Kessels,
- 20 - vor Eintritt in den Kessel überhaupt,
- nach dem Austritt aus einer vorgeschalteten Teilturbine,
- aus einer Anzapfung aus einer vorgeschalteten Teilturbine,
- durch separate Bereitstellung mittels einer geeigneten Pumpe, die das Kühlmedium an einer Stelle niedrigen Drucks aus der Vorwärmstelle
- 25 entnimmt und auf den erforderlichen Druck bringt. Um einem Kühlungsausfall bei Ausfall der Pumpe entgegenzuwirken, ist ein zusätzlicher Aufwand, gegebenenfalls ein redundanter Aufbau erforderlich.

- 30 FIG 7 zeigt eine Möglichkeit 70 der Übertragung eines Kühlmediums 71 von einem Bereich 72 vor einer ersten Leitschaufelreihe 78 in einen weiteren Bereich 73 der Laufschaufelbefestigung entlang der axialen Ausdehnung 74 hinter der ersten Leitschaufelreihe 78. Dargestellt ist hier ein Innengehäuse 76a, das in einem Außengehäuse 76 einer Dampfturbine 77 angebracht
- 35 ist. Das Kühlmedium kann über eine Zuführung 70 in ein oberflächennahes Kanalsystem 79 im Rotor 75 eingebracht werden und entlang der axialen Ausdehnung 74 im Bereich der Laufbeschaufelung 75a geführt werden.

Parallel kann das Kühlmedium den Dichtungsbereich durchströmen (Kühlung, Reduzierung der Enthalpieverluste).

Der Strom 69 des Kühlmediums 71 im Außengehäuse 76 dient der Kühlung des
5 Außengehäuses. Der Zustrom des Kühlmediums wird durch sicherheitstechnischen Anforderungen genügende Ventile geregelt.

Zusätzlich zu der Einleitungsmöglichkeit 70 des Kühlmediums in FIG 7 könnte Kühlmedium auch im Bereich der Einströmung des Arbeitsmediums in
10 das rotorintegrierte Kanalsystem 79 eingeleitet werden. Die FIG 8 zeigt eine weitere vorteilhafte Möglichkeit der Einleitung von Kühlmedium 80 bei einer bevorzugten Ausführungsform, die bei einer Turbine 1 der FIG 1 gemäß dem Stand der Technik nunmehr eine oberflächennahe Kühlung zur Verfügung stellt. Die einander entsprechenden Teile der Turbine 1 gemäß
15 dem Stand der Technik und der Turbine 81 gemäß der besonders bevorzugten Ausführungsform sind mit gleichen Bezugszeichen versehen. Im Folgenden wird das aktive Kühlsystem zur Führung des Kühlmediums 80 zur aktiven Kühlung des Rotors 83 beschrieben. Das Kühlmedium 80 wird über einen Eingangsbereich 9 zum einen, wie bereits in FIG 1 gezeigt, einem
20 Einströmbereich des Arbeitsmediums 8 zugeführt. Des Weiteren wird es aber durch ein Abschirmblech 12 hindurch geleitet und in einem Raum 82 hinter dem Abschirmblech 12 wird das Kühlmedium 80 entlang der axialen Ausdehnung 85 innerhalb der Rotorwandung oberflächennah, d. h. im Bereich 84 der Befestigung der Rotorscheufeln 15 geführt. Insbesondere
25 wird das Kühlmedium 80 entlang der axialen Ausdehnung 85 wenigstens zwischen einem vor dem ersten Laufschaufelkranz 15 angeordneten ersten Bereich 82 und einem hinter dem ersten Laufschaufelkranz 15 angeordneten zweiten Bereich 88 durchgängig geführt. Bei dieser Ausführungsform der Turbine 81 wird der erste Bereich 82 genutzt, um das Kühlmedium 80 dem
30 oberflächennahen axialen Durchführungssystem des Rotors 83 zuzuführen. Obwohl hier nicht dargestellt, kann das Kühlmedium 80 außerdem praktisch entlang des gesamten Laufbeschaufelungsbereichs des Rotors 83 geführt werden (tatsächliche Ausgestaltung (Länge) nach technischen Erfordernissen). Insbesondere können dabei einzeln oder in Kombination
35 alle weiteren anhand der übrigen Figuren beschriebenen Maßnahmen zur Ausbildung des aktiven Kühlsystems bei der Turbine 81 vorgesehen werden.

Insbesondere ist auch bei dieser Ausführungsform der FIG 8 das Kühlsystem als offenes Kühlsystem ausgelegt.

Bei Austritt des Kühlmediums am Ende des Kanalsystems in die
5 Hauptströmung ist das Kühlmedium der Hauptströmung nicht nur im Druck, sondern auch in der Temperatur der Hauptströmung weitgehend angepasst. Dies ist eine Folge der Wärmeaufnahme des Kühlmediums im gekühlten Beschaukelungsbereich. Das Kühlmedium nimmt dann an der weiteren
Expansion in der Hauptströmung Teil. Dies ist ein besonderer Vorteil
10 eines offenen Kühlsystems, was somit einen Enthalpietransport vom gekühlten Beschaukelungsbereich in den nicht gekühlten Bereich bewirkt.

Die sicherheitstechnische Überwachung des Kühlmediums hat bei der hier
gezeigten Ausführungsform vor allem die Temperatur des Kühlmediums zu
15 regeln. Dabei ist zu beachten, dass eine vorzeitige Kondensation/Tröpfchenbildung in der Strömung und im Kanalsystem auch bei Teillasten ausgeschlossen ist. Des Weiteren sollte eine Überhitzung der wesentlichen Bauteile wie Rotor, Schaufeln bzw. Schaufelbefestigungen für alle relevanten Lastfälle ausgeschlossen sein. Nach technischem Er-
20 fordernis kann eine Vertrimmung zwischen Turbinenventilen und Kühlmediumventilen vorgesehen werden.

Das beschriebene Kanalsystem der bevorzugten Ausführungsform kann auch für Vorwärmzwecke vorteilhaft verwendet werden, indem geeignetes Medium
25 beim Anfahrvorgang eingespeist wird. Dieses kann auch von anderen Stellen des Wasser-Dampf-Kreislaufs entnommen werden als das spätere eigentliche Kühlmedium. Vorteilhaft wirkt sich hierbei aus, dass das Vorwärmmedium im Kanalsystem gedrosselt wird und zumindest hier nicht zum Hochlauf eines Wellenstranges beiträgt. Analog kann dieses Verfahren auch zur
30 Schnellabkühlung verwendet werden. Bei zukünftigen Rotoren oder Rotorwerkstoffen können die geschilderten Vorgehensweisen einen Vorteil hinsichtlich der Anfahrtszeiten und Abkühlzeiten bieten.

FIG 9 zeigt eine weitere Gestaltung eines Kanalsystems zur Leitung des
35 Kühlmediums im Bereich eines Schaufelfußes 90, der in einer Nut 91 in einem Turbinenrotor 92 verankert ist. Die axiale Durchführung 93 der bevorzugten Ausführungsform ist im Bereich einer Leitschaufel 94 tiefer

in das Innere eines Rotors 92 eingelassen und weist so einen beispielhaft dreieckförmigen Verlauf im Bereich der Gehäuseschaufel 94 auf. Jeder andere Verlauf ist möglich. Die Durchführung 93 ist über Kanäle 99 zur Hauptströmung offen. In den Bereich der Durchführung wird zusätzlich eine
5 Schaufelnut 95 mit einbezogen. Zudem erfolgt die Durchführung durch einen Schaufelfuß 90 mittels eines Kanals 96, welcher oberhalb der Taille 97 des Schaufelfußes näher zum Schaufelblatt 98 hin angeordnet ist. Dies hat den Vorteil, dass die Festigkeit der Schaufelfußtaille 97 nicht beeinträchtigt wird.

10

In FIG 10 ist noch eine weitere Gestaltung ähnlich der in FIG 9 gezeigten dargestellt. Im Unterschied zu FIG 9 erfolgt eine Durchführung 106 auch im Bereich eines Schaufelblattes 108. Im Bereich des Schaufelblattes 108 gehen von der Durchführung 106 Kanäle 110 ab, welche Kühlmedium von einer
15 Durchführung 106 auf die Schaufelblattoberfläche 108 leiten, um eine Filmkühlung bereitzustellen.

Des Weiteren wird auch Kühlmedium über einen Kanal 109 im Bereich einer Gehäuseschaufel 104 an die Hauptströmung des Arbeitsmediums abgegeben.
20 Weitere Details 100, 101, 102, 103, 107 entsprechen den in FIG 9 dargestellten.

In FIG 11 ist eine günstige Anordnung eines ersten Abschirmblechs 120 und eines zweiten Abschirmblechs 121 im Bereich einer Stoßstelle 122 gezeigt.
25 Die hier dargestellte Detailausführung kann vorteilhaft bei einer Abschirmung 38 mit Durchgangsöffnungen 123 und 124 in FIG 11 oder 47, 48 und 49 in FIG 3 vorgenommen werden. Ein solches Abschirmblech ist vorteilhaft aus einem geeigneten, z. B. hochwarmfesten Werkstoff hergestellt. Es besteht bei dieser Ausführung aus Teilstücken 120, 121,
30 welche an ihren Stoßstellen 122 bevorzugt eine für unterschiedliche Temperaturen bewegliche Überdeckung 125, 126 aufweisen.

In der in FIG 3 gezeigten Ausgestaltung liegt das Abschirmblech im Bereich der Leitschaufeldeckplatten und sollte entsprechende
35 Dichtspitzen, d. h. berührungslose Dichtungen aufweisen. Hierzu könnten Dichtspitzen umlaufend angedreht, d. h. aus dem Vollen gefertigt werden, oder Dichtbänder eingestemmt werden. Das, was sich als vorteilhaft

erweist, kann je nach Festigkeits- und Fertigungsanforderungen des Materials und der Konstruktion im Einzelnen festgelegt werden.

Wenn das Kühlmedium über die Wellendichtung der Leitschaufeln an die
5 Hauptströmung abgegeben wird, kann unter Umständen der Wirkungsgradverlust durch den über diese Dichtungen strömenden Leckmassenstrom reduziert werden. Der Leckmassenstrom besteht in diesem Fall nicht aus heißem Medium der Hauptströmung, sondern aus Kühlmedium mit geringerer Enthalpie. Möglicherweise wird dieser Effekt jedoch durch
10 eine geringere Anzahl von Dichtspitzen aufgrund des Platzbedarfs zur Einleitung des Kühlmediums wieder aufgezehrt.

Zusammenfassend sind ein Dampfturbinenrotor, eine Dampfturbine und ein Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors sowie eine
15 geeignete Verwendung der Kühlung vorgeschlagen worden.

Bei bisher bekannten Dampfturbinen 1 wird ein Rotor entweder nur passiv oder nur in einem Einströmbereich des Arbeitsmediums in begrenztem Maße aktiv gekühlt. Bei einer zunehmenden Beanspruchung des Rotors durch
20 erhöhte Dampfparameter des Arbeitsmediums ist eine ausreichende Kühlung des Dampfturbinenrotors nicht mehr gewährleistet. Der vorgeschlagene Dampfturbinenrotor 21, 30 erstreckt sich entlang einer axialen Ausdehnung 25, 34 und weist auf: ein oberflächennahes Kanalsystem entlang der axialen Ausdehnung 25, 34, eine Außenseite 26a, die an einen
25 Außenraum 27a, 35 grenzt, der zur Aufnahme einer Hauptströmung 27, 36 eines fluiden Arbeitsmediums 8 vorgesehen ist, eine erste Stelle 30a entlang der Außenseite 26a, 33 bei der eine erste Schaufel 41a gehalten ist, eine zweite Stelle 30b entlang der Außenseite 26a, 33, bei der eine zweite Schaufel 41b gehalten ist, wobei entlang der axialen
30 Ausdehnung 25, 34 die zweite Stelle 30b hinter der ersten Stelle 30a angeordnet ist. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Kühlung ist dabei mindestens eine Durchführung 44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106 vorgesehen, die sich, oberflächennah angeordnet, wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle 30a angeordneten ersten Bereich 28a, 72 und einem hinter
35 der zweiten Stelle 30b angeordneten zweiten Bereich 28b, 73 durchgängig erstreckt. Es wird ein Verfahren und eine Verwendung vorgeschlagen, bei dem ein fluides Kühlmedium 10 entsprechend geführt wird.

Patentansprüche

1. Dampfturbinenrotor (21, 30, 75), der sich entlang einer axialen Ausdehnung (25, 34) erstreckt, aufweisend:

- 5 - eine Außenseite (26a), die an einen Außenraum (27a, 35) grenzt, der zur Aufnahme einer Hauptströmung (27, 36) eines fluiden Arbeitsmediums (8) vorgesehen ist,
- eine erste Stelle (30a) entlang der Außenseite (26a, 33), bei der eine erste Schaufel (41a) gehalten ist,
- 10 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h
- mindestens eine integrierte Durchführung (44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106), die sich wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle (30a) angeordneten ersten Bereich (28a, 72) und einem hinter der ersten
- 15 Stelle (30a) angeordneten zweiten Bereich (28b, 73) durchgängig erstreckt.

2. Dampfturbinenrotor nach Anspruch 1,

20 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

eine zweite Stelle (30b) entlang der Außenseite (26a), bei der eine zweite Schaufel (41b) gehalten ist, wobei entlang der axialen Ausdehnung (25, 34) die zweite Stelle (30b) hinter der ersten Stelle (30a)

25 angeordnet ist und wobei sich die Durchführung (44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106) wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle (30a) angeordneten ersten Bereich (28a, 72) und einem hinter der zweiten Stelle (30b) angeordneten zweiten Bereich (28b, 73) durchgängig erstreckt.

30

3. Dampfturbinenrotor nach Anspruch 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

zwischen der ersten Stelle (30a) und der zweiten Stelle (30b) eine Anzahl

35 von weiteren Stellen angeordnet ist, bei denen jeweils eine Schaufel (41a, 41b) gehalten ist.

4. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet, dass

die mindestens eine Durchführung (44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106) Teil
5 eines zusammenhängenden Durchführungssystems (43) ist, das sich entlang
der axialen Ausdehnung (25, 34) erstreckt.

5. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
10 dadurch gekennzeichnet, dass

die mindestens eine Durchführung (44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106) Teil
eines zusammenhängenden Durchführungssystems (43) ist, das eine externe
Zuführung (70) aufweist, die für die Zuströmung von Kühlmedium (10, 71)
15 vorgesehen ist.

6. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet, dass

20 die mindestens eine Durchführung (44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106) Teil
eines zusammenhängenden Durchführungssystems (43) ist, das einen entlang
einer umfänglichen Ausdehnung des Rotors (21, 30, 75) wenigstens
teilweise umlaufenden Kanal (45) aufweist.

25

7. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass

30 der erste Bereich (28a) eine erste Öffnung (49, 99, 109) zur
Hauptströmung (27, 36) aufweist.

8. Dampfturbinen-Rotor nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

35 dadurch gekennzeichnet, dass

der zweite Bereich (28b) eine zweite Öffnung (47, 99, 109) zur Hauptströmung (27, 36) aufweist.

5

9. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Außenseite (26a) des Rotors (21, 30, 75) durch ein mit dem Rotor (21,
10 30, 75) mitdrehbares Abschirmblech (38) gebildet ist.

10. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9,
dadurch gekennzeichnet, dass

15

ein mit dem Rotor (21, 30, 75) mitdrehbares Abschirmblech (38) durch eine
Schaufel (41a, 41b), insbesondere einen Schaufelfuß (39a, 39b), gehalten
ist.

20

11. Dampfturbinenrotor nach Anspruch 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass

eine Abschirmung der Rotorwelle gegen die Hauptströmung des Dampfes
25 zumindest teilweise von einem Schaufelfuß (39a, 39b) gebildet ist.

12. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet, dass

30

die Durchführung (46a, 46b, 96, 106) durch eine Schaufel (41a, 41b),
insbesondere durch einen Schaufelfuß (39a, 39b), geführt ist.

13. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
35 gekennzeichnet durch

eine Nut (40a, 40b) an einem Schaufelfuß (39a, 39b), welche Teil der Durchführung (44) ist.

5

14. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 13,
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

eine Bohrung (46a, 46a') durch einen einzelnen Schaufelfuß (39a, 39a')
10 und/oder eine Bohrung (46a'') durch zwei benachbarte Schaufelfüße (39a''),
welche Teil der Durchführung (44) ist.

15. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 14,
15 g e k e n n z e i c h n e t d u r c h

einen Kanal (106, 110) in einem Schaufelblatt (108), der mit der
Durchführung (44) zusammenhängend verbunden ist.

20

16. Dampfturbinenrotor nach einem der Ansprüche 1 bis 15,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

auf einer Schaufeloberfläche eine Wärme-Isolationsbeschichtung aus einem
25 Material vorgesehen ist, das einen im Vergleich zum Grundwerkstoff der
Schaufel geringeren Wärmeleitkoeffizienten aufweist.

17. Dampfturbine (77, 20),
30 aufweisend einen Dampfturbinenrotor (21, 30, 75) nach einem der Ansprüche
1 bis 16.

18. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors (21, 30, 75),
35 der sich entlang einer axialen Ausdehnung (25, 34) erstreckt und
- eine Außenseite (26a), die an einen Außenraum (27a, 35) grenzt, der
zur Aufnahme einer Hauptströmung (27, 36) eines fluiden Arbeitsmediums
(8) vorgesehen ist,

29

- eine erste Stelle (30a) entlang der Außenseite (26a, 33), bei der eine erste Schaufel (41a) gehalten ist,

aufweist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

5

- ein fluides Kühlmedium (10, 71) innerhalb des Dampfturbinenrotors (21, 30, 75) entlang der axialen Ausdehnung (25) wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle (30a) angeordneten ersten Bereich (28a, 72) und einem hinter der ersten Stelle (30a) angeordneten zweiten Bereich

10 (28b, 73) durchgängig geführt wird.

19. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors nach Anspruch 18,

15 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

der Dampfturbinenrotor (21, 30, 75) eine zweite Stelle (30b) entlang der Außenseite (26a, 33) aufweist, bei der eine zweite Schaufel (41b) gehalten ist, wobei entlang der axialen Ausdehnung (25, 34) die zweite
20 Stelle (30b) hinter der ersten Stelle (30a) angeordnet ist und wobei das fluide Kühlmedium (10, 71) wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle (30a) angeordneten ersten Bereich (28a, 72) und einem hinter der zweiten Stelle (30b) angeordneten zweiten Bereich (28b, 73) durchgängig
geführt wird.

25

20. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors nach Anspruch 19,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s

30

das Kühlmedium (10, 71) in einem zusammenhängenden Durchführungssystem (43) entlang der axialen Ausdehnung (25, 34) über die erste Stelle (30a) und die zweite Stelle (30b) und eine Anzahl von dazwischenliegenden weiteren Stellen (24), bei denen jeweils eine Schaufel (41a, 41b)
35 gehalten ist, geführt wird.

21. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors nach einem der Ansprüche 18 bis 20,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass

- 5 das Kühlmedium (10, 71) dem Dampfturbinenrotor (21, 30, 75) von extern (70) zugeführt wird.

22. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors nach einem
10 der Ansprüche 18 bis 21,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass

das Kühlmedium mit einem Druck geführt wird, der einen Druck der
Hauptströmung (27, 36) übersteigt.

15

23. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors nach einem der Ansprüche 18 bis 22,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass

20

das Kühlmedium (10, 71) mit einem Druck geführt wird, der in Abhängigkeit eines Druckes der Hauptströmung (27, 36) angepasst (47, 48, 49, 99, 109), insbesondere gedrosselt wird.

25

24. Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors nach einem der Ansprüche 18 bis 23,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , dass

30

das Kühlmedium (10, 71) mit einer Temperatur und/oder einer Menge zugeführt wird, die in Abhängigkeit einer Temperatur der Hauptströmung (27, 36) angepasst (47, 48, 49, 99, 109) wird.

35

25. Verwendung einer aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors (21, 30, 75) zum An- und/oder Abfahren einer Dampfturbine (77, 20), insbesondere zur Schnellabkühlung einer Dampfturbine (77, 20).

Zusammenfassung

Dampfturbinenrotor, Dampfturbine und Verfahren zur aktiven Kühlung eines Dampfturbinenrotors und Verwendung einer aktiven Kühlung

5

Bei bisher bekannten Dampfturbinen (1) wird ein Rotor entweder nur passiv oder nur in einem Einströmbereich des Arbeitsmediums in begrenztem Maße aktiv gekühlt. Bei einer zunehmenden Beanspruchung des Rotors durch erhöhte Dampfparameter des Arbeitsmediums ist eine ausreichende Kühlung des Dampfturbinenrotors nicht mehr gewährleistet. Der vorgeschlagene Dampfturbinenrotor (21, 30, 75) erstreckt sich entlang einer axialen Ausdehnung (25, 34) und weist auf: eine Außenseite (26a), die an einen Außenraum (27a, 35) grenzt, der zur Aufnahme einer Hauptströmung (27, 36) eines fluiden Arbeitsmediums (8) vorgesehen ist, eine erste Stelle (30a) entlang der Außenseite (26a), bei der eine erste Schaufel (41a) gehalten ist, eine zweite Stelle (30b) entlang der Außenseite (26a, 33), bei der eine zweite Schaufel (41b) gehalten ist, wobei entlang der axialen Ausdehnung (25, 34) die zweite Stelle (30b) hinter der ersten Stelle (30a) angeordnet ist. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Kühlung ist dabei mindestens eine integrierte Durchführung (44, 46a, 46b, 93, 96, 103, 106) vorgesehen, die sich wenigstens zwischen einem vor der ersten Stelle (30a) angeordneten ersten Bereich (28a, 72) und einem hinter der zweiten Stelle (30b) angeordneten zweiten Bereich (28b, 73) durchgängig erstreckt. Es wird ein Verfahren und eine Verwendung vorgeschlagen, bei dem ein fluides Kühlmedium (10) entsprechend geführt wird.

25

FIG 2